

早稲田大学大学院 環境・エネルギー研究科

博士論文審査報告書

論文題目

廃棄物焼却溶融システムの開発

(灰中未燃分の積極活用を志向した
直結型焼却溶融システムの実用化)

Development of waste combustion and melting system
(Actual test of directly connected combustion and
melting system utilizing carbon combustion heat)

申請者

井上	里志
INOUE	SATOSHI

2008年 1月

今日、地球規模での天然資源ならびに自然の浄化能力の有限性という二つの制約が一般に強く認識されるようになった。こうした情勢から、循環型経済社会の構築は、いまやわが国をはじめ世界各国が取り組まねばならない大きな目標の一つとなっている。とくに廃棄物問題に関しては環境負荷の低減と資源の有効活用の両面から喫緊の課題とされ、各国で先進的な取り組みが開始されている。

わが国の生活系廃棄物の歴史をみると、その量は、人口増と生活の質の向上を主要因として戦後ほぼ一貫して増加傾向にあり、狭隘な国土での衛生的な処理と最終処分の減量を目指して、焼却を基本とした対応が採られてきている。この経過のなかで、ごみの発熱量も高まり、その有効利用のための発電設備の導入や最終処分量のより一層の削減ならびにダイオキシンや重金属対策のための焼却灰の溶融処理などの方策も積極的に取り入れられるようになった。現状では、リデュース・リユース・リサイクルの3R政策のなかで、大規模な生活系に廃棄物処理施設では、焼却発電と灰溶融が、一般的なシステムとなっている。

灰溶融技術は、焼却設備と分離され、単独で建設・運転される方式と焼却と灰溶融が一体的に建設・運転される方式に大きく分けられる。本論文で開発・研究された直結型溶融システムは、定義上は後者に属するが、他の同種のタイプのシステムとは、次の点で異なる。①焼却炉での燃焼抑制により灰中未燃分を残留させ、それを溶融に積極活用する、②焼却・溶融での一体的連繋運転が必要であり、かつ可能である、③既設の焼却炉にも付設可能なシステム構成になっている。

本論文は、以上のような独創的な特徴を持つ焼却灰溶融システムに関し、実験や数値シミュレーションを通して、その設計手法を確立させ、実用施設として実現させたものである。本論文は、以下の6章から構成されている。

第1章では、本研究の背景、目的を明らかにするとともに灰溶融に関する従来技術の課題等について述べている。さらに、開発の目標を設定し、具体的な技術開発項目や開発手法を明確にしている。

第2章では、角型灰溶融炉を中核とする焼却溶融システムの開発について述べている。灰中未燃分の積極活用の着想を、燃焼試験と簡易な燃焼シミュレーション解析によって発展させ、実用化へと導いている。

実際の角型灰溶融炉では、灰の燃焼部と溶融部を分離させ、燃焼部は灰中未燃分の積極燃焼をコンパクトに行うため火格子燃焼方式としている。燃焼排ガスは灰の流れと順流に下流側へ排出させ、上流から下流に掛けて高温となる炉内温度分布を形成させて溶湯の円滑な出滓を可能にしている。また、灰中未燃分の低下に起因する溶融の不安定化に対処するため、灰投入部のシール機能を強化するとともに、外部熱補助手段として灯油バーナおよび小型プラズマトーチを導入している。

上記のような対応を適用した小型実験炉で基礎特性を把握した上で、実用施設

へ展開し、そこでは延べ 250 日に及ぶ安定運転を達成している。その後の炉内状況調査の結果では、灰燃焼部はスラグ付着がなく、燃焼部と熔融部の分離が想定通り実現されていたことを確認している。また、焼却熔融システムとしての運転制御法として、灰供給量とのバランスを保つ燃焼量や灰中未燃分量割合等のコントロール手法を確立させ、実用施設として完成させている。

第 3 章では、サイクロン型への展開を図り、小型実験炉等で熔融基礎特性を調査するとともに解析手法を検討し、実機設計への基礎を確立している。

多様な廃棄物への対応や施設としてのコンパクト化、省エネルギー化には、角型よりサイクロン型が有利なことを考察し、それを確認するためにホットモデルによる実験や数値シミュレーションによる検討を行っている。

サイクロン型灰熔融炉では、炉内ガスの旋回によって補助燃料の燃焼やガスと灰熔融面との伝熱を促進させて熔融の効率化を図るとともに、溶湯貯留部の設置等の機能強化も実施している。こうした機能を実現させた実験炉で、各種の焼却灰を用い、熔融基礎特性を把握している。具体的には、灰中未燃分の増加とともに外部熱補助を低減できること、炉内ガス温度上昇とともに灰処理量を増加させ得ることを確認している。さらに熱流動シミュレーション解析を行い、熔融に十分な炉内温度分布が維持される設定条件を推定するとともに炉内ガスの旋回による慣性力の作用によって同伴される飛灰は、そのほとんどが炉壁で捕捉・熔融されることを予測している。前者については、実験炉での燃焼ガスならびに熔融面の温度実測結果が予測値とほぼ一致することを確認し、一方後者については、炉壁へのスラグの浸透状況から検証している。

さらに熔融機能の強化に向けて酸素バーナの付加を検討し、実験でその有用性を実証している。また、実機設計へ向け、第 4 章で詳述される実証試験炉に対して熱流動シミュレーションモデルを構築している。このモデルでは、灰熔融炉内を上部空間の旋回ガス流動領域と下部の灰熔融領域に分け、それぞれの領域における現象について解析できるものとなっている。

第 4 章では、12 t - 灰 / 24 h の熔融処理能力をもつ実証試験炉を対象に、上記 3 章で提案した熱流動シミュレーションモデルの解析結果と実験値との整合性について検討し、その有効性を確認している。

実証試験炉での実験では、これまで従来型システムでは熔融不適物として扱われてきた鉄分やクリンカを多く含む灰も熔融可能なことを示し、廃棄物の多様化にも対処できることを確認している。また、灰中未燃分量割合を 42 % 程度まで増加させることにより、外部熱補助なしに自然熔融できることや灰熔融炉のコンパクト化に対しても従来型より優れた性能が得られることを実証している。

こうした実験結果は、熱流動シミュレーションモデルによる性能予測値と良く一致しており、このモデルが設計ツールとして有効に活用できることを確認して

いる。重要な基本設計値として、灰溶融能力の原単位となる炉床負荷 $270\text{kg}-\text{灰}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ および安定溶融状態を維持するための熱量原単位である灰溶融面の熱流束 $150\text{kW}/\text{m}^2$ を得ている。また、一連の実証試験を通じて得られた多くの知見およびノウハウが、次の実用炉での設計・運転に活用されている。

第5章では、サイクロン型焼却溶融システムの実用化とその性能検証について述べている。

実用施設の要求仕様は $60\text{t}-\text{灰}/24\text{h}$ であり、第4章で得られた設計基本数値をベースに熱流動シミュレーションモデルによる性能予測を行い、設計値としている。この際、より一層のコンパクト化を達成するために、炉床空気の増量による溶融能力の増加をシミュレーションモデルに反映させ、設計ツールとしての高度化も実現している。

実用施設での1週間に渡る連続焼却溶融運転において、所定の性能が得られることを実証し、また炉内の温度分布も予測値とほぼ一致することを確認している。また得られた溶融スラグは、鉛等の溶出基準値を満たすとともに細骨材としての物理的性状をも満足しており、砂等の代替として十分活用可能な品質を有していることを示している。

このほか、ここで開発した焼却溶融システムでは、処理困難物といわれているアスベスト廃棄物や PCB に汚染された絶縁油等の無害化処理も良好に実現できることを実験的に検証している。

第6章では、本研究で得られた成果を総括するとともに今後の研究の展開・発展について述べている。

以上要するに、本論文は廃棄物の処理・リサイクルの高度化に対応した焼却溶融システムを開発・実用化したものであり、その設計ツールや運転制御手法も確立している。ここで得られた成果は、今後の廃棄物処理の技術的進展に寄与するばかりでなく、広く循環型経済社会の構築に資するものであって高く評価され、博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。

2008年1月

(主査) 早稲田大学教授

早稲田大学教授

早稲田大学教授

早稲田大学教授

永田 勝也

大聖 泰弘

吉田 徳久

博士(工学) 早稲田大学 関谷 弘志